

# SOLID-STATE LASER EXCITATION MODULE

**Publication number:** JP2000156534

**Publication date:** 2000-06-06

**Inventor:** YANAGISAWA TAKAYUKI; HIRANO YOSHIHITO

**Applicant:** MITSUBISHI ELECTRIC CORP

**Classification:**

- **International:** H01S3/093; H01S3/094; H01S3/16; H01S3/0915;  
H01S3/094; H01S3/16; (IPC1-7): H01S3/094;  
H01S3/093; H01S3/16

- **European:**

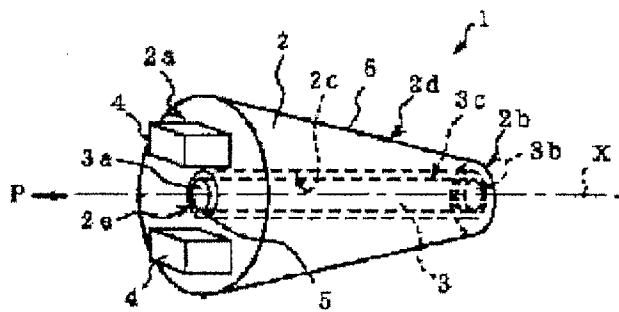
**Application number:** JP19980331749 19981120

**Priority number(s):** JP19980331749 19981120

[Report a data error here](#)

## Abstract of JP2000156534

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a solid-state laser excitation module where the excitation distribution is highly uniform, the end surface is not easily damaged because it does not have an end surface excitation type configuration, and the size is small enough to provide high degree of freedom to the configuration of a laser resonator. **SOLUTION:** In this module, the shape of the outer side surface 2d at the cross-section perpendicular to the longitudinal axis X of a solid laser rod 3 is circular. This module has a tapered transparent block 2 where its radius is gradually smaller from the first end surface 2a towards the second end surface 2b, a solid-state laser rod 3 provided in a through hole 2e in the tapered transparent block 2, a semiconductor laser 4 for emitting excitation light from the first end surface 2a of the tapered transparent block 2, heat contacting means 5 provided between the solid laser rod 3 and the inner side surface 2c of the tapered transparent block 2, and excitation light reflecting means 6 provided on the outer side surface 2d of the tapered transparent block 2.





(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
 H 01 S 3/094  
 3/093  
 3/16

識別記号

F I  
 H 01 S 3/094  
 3/093  
 3/16

テマコード(参考)  
 S 5 F 0 7 2

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 18 頁)

(21)出願番号 特願平10-331749  
 (22)出願日 平成10年11月20日(1998.11.20)

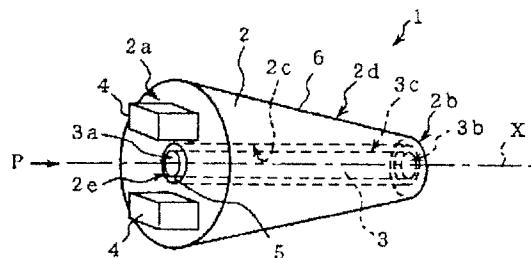
(71)出願人 000006013  
 三菱電機株式会社  
 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号  
 (72)発明者 柳澤 隆行  
 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内  
 (72)発明者 平野 嘉仁  
 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内  
 (74)代理人 100066474  
 弁理士 田澤 博昭 (外1名)  
 F ターム(参考) 5F072 AB01 AK01 FF06 FF09 JJ05  
 PP07 YY11

(54)【発明の名称】 固体レーザ励起モジュール

## (57)【要約】

【課題】 固体レーザロッドの長手方向における励起分布が均一でないという課題、端面が損傷しやすいという課題、固体レーザ励起モジュールが大きいという課題及びレーザ共振器の構成の自由度が小さいという課題があった。

【解決手段】 固体レーザロッド3の長手方向軸Xに垂直な断面での外側側面2dの形状が円形であり、その半径の大きさが第1の端面2aから第2の端面2bに向かうにしたがって徐々に小さくなる形状のテーパ状透明ブロック2と、テーパ状透明ブロック2の貫通孔2eに設けられた固体レーザロッド3と、テーパ状透明ブロック2の第1の端面2aから励起光を入射させる半導体レーザ4と、固体レーザロッド3とテーパ状透明ブロック2の内側側面2cとの間に設けられた熱接触手段5と、テーパ状透明ブロック2の外側側面2dに設けられた励起光反射手段6とを備える。



1: 固体レーザ励起モジュール	3: 固体レーザロッド
2: テーパ状透明ブロック	3c: 側面
2a: 第1の端面	4: 半導体レーザ
2b: 第2の端面	5: 热接触手段
2c: 内側側面	6: 励起光反射手段
2d: 外側側面	
2e: 貫通孔	

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 内周と外周とを有する第1の端面と、内周と外周とを有し該第1の端面と略平行な第2の端面と、該第1の端面の内周と該第2の端面の内周とを接続し貫通孔を形成する内側側面と、該第1の端面の外周と該第2の端面の外周とを接続する外側側面とで取り囲まれ、該内側側面と該外側側面とが固体レーザロッドの長手方向軸を中心とした回転対称形であり、該長手方向軸に垂直な断面での該内側側面の大きさが該第1の端面から該第2の端面にわたって同一であり、該長手方向軸に垂直な断面での該外側側面の大きさが該第1の端面から該第2の端面に向かうにしたがって徐々に小さくなる形状のテーパ状透明ブロックと、

上記テーパ状透明ブロックの貫通孔に設けられた固体レーザロッドと、

上記固体レーザロッドを励起するための励起光を上記テーパ状透明ブロックの第1の端面に向けて出射し、上記テーパ状透明ブロックの第1の端面から上記テーパ状透明ブロックに励起光を入射させる半導体レーザと、

上記固体レーザロッドと上記テーパ状透明ブロックの内側側面との間に設けられた、上記テーパ状透明ブロックに入射した励起光を吸収した上記固体レーザロッドが発する熱を上記テーパ状透明ブロックへ伝導あるいは外部へ排出する熱接触手段と、

上記テーパ状透明ブロックの外側側面に設けられた、上記テーパ状透明ブロックに入射した励起光を反射する励起光反射手段とを備え、

上記テーパ状透明ブロックは、上記テーパ状透明ブロックに入射した励起光及び上記テーパ状透明ブロックに入射し上記励起光反射手段で反射した励起光を伝搬しつつ上記熱接触手段を介して伝導してきた熱を外側側面へ伝導する固体レーザ励起モジュール。

【請求項2】 テーパ状透明ブロックの第1の端面の外周及び第2の端面の外周が円形であることを特徴とする請求項1記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項3】 テーパ状透明ブロックの第1の端面の外周及び第2の端面の外周が正多角形であることを特徴とする請求項1記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項4】 テーパ状透明ブロックの第1の端面の外周が長方形であり外側側面が互いに平行な二面と第1の端面から第2の端面に向かうにしたがって徐々に接近する二面とからなることを特徴とする請求項1記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項5】 固体レーザロッドの長手方向軸に垂直な断面の形状がテーパ状透明ブロックの第1の端面と同一である柱状の柱状透明ブロックを、上記テーパ状透明ブロックの第1の端面に設け、上記柱状透明ブロックに入射した励起光を反射する励起光反射手段を、上記柱状透明ブロックの外側側面に設けたことを特徴とする請求項1記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項6】 テーパ状透明ブロックの第1の端面が凸形の曲率を有することを特徴とする請求項1記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項7】 半導体レーザを、固体レーザロッドの長手方向軸を中心として回転対称に設けたことを特徴とする請求項1記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項8】 励起光反射手段が金属からなることを特徴とする請求項1記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項9】 励起光反射手段が銅からなることを特徴とする請求項8記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項10】 励起光反射手段が励起光を拡散する特性を有する材料からなることを特徴とする請求項1記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項11】 励起光反射手段がセラミックからなることを特徴とする請求項10記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項12】 テーパ状透明ブロックの外側側面がグランドラフ面であることを特徴とする請求項1記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項13】 テーパ状透明ブロックの内側側面がグランドラフ面であることを特徴とする請求項1記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項14】 固体レーザロッドの側面がグランドラフ面であることを特徴とする請求項1記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項15】 テーパ状透明ブロックの屈折率が固体レーザロッドの屈折率より小さいことを特徴とする請求項1記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項16】 固体レーザロッドが $Y_3A_1O_{12}$ をホスト材料とし、テーパ状透明ブロックがサファイヤからなることを特徴とする請求項15記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項17】 固体レーザロッドが $Y_3A_1O_{12}$ 、 $YLiF_4$ 、 $LiSrAlF_6$ 及び $LiCaAlF_6$ のうちのいずれかをホスト材料とし、テーパ状透明ブロックが $MgF_2$ からなることを特徴とする請求項1記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項18】 热接触手段が液体からなることを特徴とする請求項1記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項19】 热接触手段が固体レーザロッドの屈折率より小さく、テーパ状透明ブロックの屈折率より大きい屈折率を有するシリコーンオイルからなることを特徴とする請求項18記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項20】 热接触手段が固体レーザロッドの屈折率より小さく、テーパ状透明ブロックの屈折率より大きい屈折率を有するエチレングリコール水溶液からなることを特徴とする請求項18記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項21】 固体レーザロッドを固定するとともに熱接触手段をシールする固定シール手段を、上記固体レ

ーザロッドの側面とテーパ状透明ブロックの第1及び第2の端面との間に設けたことを特徴とする請求項18記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項22】 固定シール手段がシリコーンゴムからなることを特徴とする請求項21記載の固体レーザ励起モジュール。

【請求項23】 内周と外周とを有する第1の端面と、内周と外周とを有し該第1の端面と略平行な第2の端面と、該第1の端面の内周と該第2の端面の内周とを接続し貫通孔を形成する内側側面と、該第1の端面の外周と該第2の端面の外周とを接続する外側側面とで取り囲まれ、該内側側面と該外側側面とが固体レーザロッドの長手方向軸を中心とした回転対称形であり、該長手方向軸に垂直な断面での該内側側面の大きさが該第1の端面から該第2の端面にわたって同一であり、該長手方向軸に垂直な断面での該外側側面の大きさが該第1の端面から該第2の端面に向かうにしたがって徐々に小さくなる形状の第1のテーパ状透明ブロックと、

上記第1のテーパ状透明ブロックと同一形状であり、第2の端面が上記第1のテーパ状透明ブロックの第2の端面と対向して位置する第2のテーパ状透明ブロックと、第1の端面が上記第1のテーパ状透明ブロック側に位置し第2の端面が上記第2のテーパ状透明ブロック側に位置するように、上記第1及び第2のテーパ状透明ブロックの貫通孔に設けられた固体レーザロッドと、

上記固体レーザロッドを励起するための励起光を上記第1のテーパ状透明ブロックの第1の端面及び上記第2のテーパ状透明ブロックの第1の端面に向けて出射し、上記第1のテーパ状透明ブロックの第1の端面及び上記第2のテーパ状透明ブロックの第1の端面から上記第1のテーパ状透明ブロック及び上記第2のテーパ状透明ブロックに励起光を入射させる半導体レーザと、

上記固体レーザロッドと上記第1のテーパ状透明ブロックの内側側面との間及び上記固体レーザロッドと上記第2のテーパ状透明ブロックの内側側面との間に設けられた、上記第1及び第2のテーパ状透明ブロックに入射した励起光を吸収した固体レーザロッドが発する熱を上記第1及び第2のテーパ状透明ブロックへ伝導あるいは排出する熱接触手段と、

上記第1のテーパ状透明ブロックの外側側面及び上記第2のテーパ状透明ブロックの外側側面に設けられた、上記第1及び第2のテーパ状透明ブロックに入射した励起光を反射する励起光反射手段とを備え、

上記第1のテーパ状透明ブロックは、上記第1のテーパ状透明ブロックに入射した励起光及び上記第1のテーパ状透明ブロックに入射し上記励起光反射手段で反射した励起光を伝搬しかつ上記熱接触手段を介して伝導してきた熱を外側側面へ伝導し、上記第2のテーパ状透明ブロックは、上記第2のテーパ状透明ブロックに入射した励起光及び上記第2のテーパ状透明ブロックに入射し上記

励起光反射手段で反射した励起光を伝搬しかつ上記熱接触手段を介して伝導してきた熱を外側側面へ伝導する固体レーザ励起モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、半導体レーザを用いて固体レーザロッドを励起しレーザ光を得る固体レーザ励起モジュールに関し、特に人工衛星や航空機等の飛翔体に搭載する固体レーザ装置に適した固体レーザ励起モジュールに関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来例1、図12は、例えば、「Walter Koechner, "Solid-State Laser Engineering", Fourth Extensively Revised and Update Edition, Springer Series in Optical Sciences, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p136」に示された、従来例1の固体レーザ励起モジュールを示す構成図である。図12において、101は固体レーザ励起モジュール、102は固体レーザロッド、103は固体レーザロッド102を励起するためのレーザ光（以下、励起光という）を出射する半導体レーザ、104は半導体レーザ103から出射した励起光、105はレンズで代表される、半導体レーザ103から出射した励起光104を集光する集光手段、102aは固体レーザロッド102の半導体レーザ103側の端面である。

【0003】次に動作について説明する。半導体レーザ

103から出射した励起光104は、集光手段105で集光される。集光手段105で集光された励起光104は、固体レーザロッド102の半導体レーザ103側の端面102aから固体レーザロッド102に入射する。固体レーザロッド102に入射した励起光104は、固体レーザロッド102内を固体レーザロッド102の長手方向に向かって伝搬する。励起光104は、固体レーザロッド102内を伝搬する間に、固体レーザロッド102に吸収される。

【0004】ここで、固体レーザロッド102に入射する励起光104の吸収特性について説明する。図13

は、従来例1の固体レーザ励起モジュールの固体レーザロッドに入射する励起光の吸収特性図である。図13では、横軸に固体レーザロッド102の端面102aからの距離zをとり、縦軸に励起光の単位長さ当たりの吸収量をとっている。また、図13では、固体レーザロッド102の長手方向における固体レーザロッド102の長さがL、固体レーザロッド102の吸収係数が $\alpha$ 、固体レーザロッド102に入射する励起光強度がPである場合について示している。

【0005】従来例1の固体レーザ励起モジュールの場

合、 $z = 0$  の位置での吸収量は  $\alpha \times P$  であり、 $z = L$  の位置での吸収量が  $\alpha \times P \times e^{-\alpha L}$  である。励起光の吸収量すなわち固体レーザロッド 102 内に蓄えられるエネルギー量は、固体レーザロッド 102 の半導体レーザ 103 側の端面 102a 付近 ( $z = 0$  付近) で最も大きく、端面 102a から離れるに従って減少する。

【0006】このように従来例 1 の固体レーザ励起モジュール 101 では、固体レーザロッド 102 内に蓄えられるエネルギーの分布 (励起分布) が固体レーザロッド 102 の長手方向において均一でない。また、励起光 104 が集光されて固体レーザロッド 102 に入射するため、固体レーザロッド 102 の長手方向と垂直な面内における励起分布も均一でない。そして、固体レーザロッド 102 は、内部に蓄えられるエネルギー量に応じて発熱する。このため、高平均パワーで固体レーザロッド 102 を励起する場合、固体レーザロッド 102 内に蓄えられるエネルギー量が大きい部分と、小さい部分との間の温度差が大きくなり、その結果、固体レーザロッド 102 の熱破壊や熱ひずみが起こる。

【0007】また、従来例 1 の固体レーザ励起モジュール 101 では、高平均パワーで固体レーザロッド 102 を励起する場合、固体レーザロッド 102 内に蓄えられるエネルギー量が最も大きい半導体レーザ 103 側の端面 102a 付近での発熱が激しくなり、その結果、固体レーザロッド 102 の半導体レーザ 103 側の端面 102a が熱膨脹し、発振するレーザ光 (以下、発振光という) がその端面 102a を通過するとき、発振光に収差を与え、損失の増加による効率の低下や発振光のビーム品質の低下をまねく。

【0008】また、従来例 1 の固体レーザ励起モジュール 101 では、励起光 104 を集光手段 105 で集光し、集光された励起光 104 が固体レーザロッド 102 の半導体レーザ 103 側の端面 102a から固体レーザロッド 102 に入射するため、一般的に直徑が 3 mm ~ 5 mm 程度の固体レーザロッド 102 の半導体レーザ 103 側の端面 102a が損傷しやすい。

【0009】なお、発振光のエネルギーは、固体レーザロッド 102 の長手方向及びそれに垂直な面内における励起分布と発振光との重なり (ビームオーバラップ) に依存するため、効率の高い固体レーザ装置を得るには、固体レーザロッド 102 内を伝搬する発振光の形状と固体レーザロッド 102 の長手方向及びそれに垂直な面内における励起分布の形状とを一致させる必要がある。しかしながら、従来例 1 の固体レーザ励起モジュール 101 では、固体レーザロッド 102 の長手方向における励起分布及び固体レーザロッド 102 の長手方向と垂直な面内における励起分布が、上述したように均一ではなく、その結果、ビームオーバラップを大きくとることがむずかしい。

【0010】従来例 2、図 14 は、例えば、「E. C.

Honea et. al., "155-WTm: YAG Diode-pumped Solid State Laser", IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 33, No. 9 (1997), pp. 1592 ~ 1600」に示された従来例 2 の固体レーザ励起モジュールを示す構成図である。図 14 において、201 は固体レーザ励起モジュール、202 は固体レーザロッド、203 は励起光を出射する半導体レーザ、204 は複数の半導体レーザ 203 を集積することにより構成されたスタック型半導体レーザ、205 は半導体レーザ 203 から出射した励起光、206 は複数の半導体レーザ 203 から出射した励起光 205 を集光するレンズダクト、207 は固体レーザロッド 202 のスタック型半導体レーザ 204 側の端面にディフュージョンボンディングにより接着された、レーザ媒質を含まない第 1 の結晶、208 は固体レーザロッド 202 のスタック型半導体レーザ 204 側と反対側の端面にディフュージョンボンディングにより接着された、レーザ媒質を含まない第 2 の結晶、209 は部分反射鏡、206a はレンズダクト 206 の固体レーザロッド 202 側の端面、207a は第 1 の結晶 207 のスタック型半導体レーザ 204 側の端面、208a は第 2 の結晶 208 のスタック型半導体レーザ 204 側と反対側の端面である。

【0011】このように従来例 2 の固体レーザ励起モジュール 201 では、第 1 の結晶 207 のスタック型半導体レーザ 204 側の端面 207a には励起光 205 の反射を減少させかつ発振光を全反射する膜 (すなわち、励起光 205 にとって AR 膜として機能し、発振光にとって H.R. 膜として機能する膜) を形成し、第 2 の結晶 208 のスタック型半導体レーザ 204 側と反対側の端面 208a には励起光 205 を全反射しつつ発振光の反射を減少させる膜 (すなわち、励起光 205 にとって H.R. 膜として機能し、発振光にとって AR 膜として機能する膜) を形成している。そして、第 1 の結晶 207 のスタック型半導体レーザ 204 側の端面 207a に形成された膜と部分反射鏡 209 により、レーザ共振器を構成している。また、固体レーザロッド 202 中の活性イオン濃度を小さくしている。また、励起光 205 の漏れを少なくするため、レンズダクト 206 の固体レーザロッド 202 側の端面 206a が第 1 の結晶 207 の近くに位置するように、レンズダクト 206 を配置している。

【0012】次に動作について説明する。複数の半導体レーザ 203 から出射した励起光 205 は、レンズダクト 206 で集光される。レンズダクト 206 で集光された励起光 205 は、第 1 の結晶 207 のスタック型半導体レーザ 204 側の端面 207a から第 1 の結晶 207 に入射し、固体レーザロッド 202 に入射する。固体レーザロッド 202 に入射した励起光 205 は、固体レーザロッド 202 内を固体レーザロッド 202 の長手方向

に向かって伝搬する。励起光205は、固体レーザロッド202内を伝搬する間に、固体レーザロッド202に吸収される。ただし、固体レーザロッド202中の活性イオン濃度が小さいため、励起光205の一部は吸収されない。吸収されなかった励起光205は、第2の結晶208に入射し、第2の結晶208のスタック型半導体レーザ204側と反対側の端面208aに形成された膜で全反射する。第2の結晶208のスタック型半導体レーザ204側と反対側の端面208aに形成された膜で全反射した励起光205は、再び固体レーザロッド202に入射し、固体レーザロッド202内を伝搬し、固体レーザロッド202に吸収される。また、発振光は、第1の結晶207のスタック型半導体レーザ204側の端面207aに形成された膜と部分反射鏡209との間で反射を繰り返し、一部分が部分反射鏡209から外部に出て行く。

【0013】ここで、固体レーザロッド202に入射する励起光205の吸収特性について説明する。図15は、従来例2の固体レーザ励起モジュールの固体レーザロッドに入射する励起光の吸収特性図である。図15では、横軸に固体レーザロッド202のスタック型半導体レーザ204側の端面からの距離zをとり、縦軸に励起光の単位長さ当たりの吸収量をとって示している。また、図15では、固体レーザロッド202の長手方向における固体レーザロッド202の長さがL、固体レーザロッド202の吸収係数が $\alpha/2$ （以下、この吸収係数を $\alpha'$ として説明する。）、固体レーザロッド202に入射する励起光強度がPである場合について示している。なお、図15中、破線で示す曲線aは第1の結晶207を伝搬して固体レーザロッド202に入射する励起光の吸収特性を示し、破線で示す曲線bは第2の結晶208を伝搬して固体レーザロッド202に入射する励起光の吸収特性を示す。

【0014】従来例2の固体レーザ励起モジュール201の場合、 $z=0$ の位置での吸収量は $\alpha' \times P + \alpha' \times P \times (e^{-\alpha' \cdot L})^2$ であり、 $z=L$ の位置での吸収量が $2 \times \alpha' \times P \times e^{-\alpha' \cdot L}$ である。励起光の吸収量すなわち固体レーザロッド202内に蓄えられるエネルギー量は、従来例1の場合と同様に、固体レーザロッド202のスタック型半導体レーザ204側の端面付近（ $z=0$ 付近）で最も大きく、その端面から離れるに従って減少する。しかし、その減少割合は、従来例1の場合より小さい。

【0015】このように従来例2の固体レーザ励起モジュール201では、固体レーザロッド202の長手方向における励起分布が従来例1の場合より均一となる。また、励起光205をレンズダクト206により集光するため、固体レーザロッド202の長手方向と垂直な面内における励起分布も従来例1の場合より均一となる。このため、従来例1の場合と同じパワーで固体レーザロッ

ド202を励起した場合、固体レーザロッド202内に蓄えられるエネルギー量が大きい部分と、小さい部分との間の温度差が従来例1の場合より小さくなり、その結果、固体レーザロッド202の熱破壊や熱ひずみが起りにくくなる。

【0016】また、従来例2の固体レーザ励起モジュール201では、固体レーザロッド202のスタック型半導体レーザ204側の端面に接着された第1の結晶207は、レーザ媒質を含まないため、第1の結晶207は発熱せず、その結果、第1の結晶207のスタック型半導体レーザ204側の端面207aの熱膨脹しにくくなる。

【0017】なお、上述した従来例1及び従来例2の固体レーザ励起モジュールは、端面励起型の固体レーザ励起モジュールであり、このような固体レーザ励起モジュールでは固体レーザロッドに入射した励起光が固体レーザロッド内を長手方向に伝搬するため、励起光の吸収効率が高い。従来例1は、端面励起型の固体レーザ励起モジュールの一般的な構成を示している。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】従来例2の固体レーザ励起モジュールは以上のように構成されているので、従来例1の場合より固体レーザロッド202の熱破壊や熱ひずみが起りにくいか、依然として、固体レーザロッド202の長手方向における励起分布が均一でないため、高平均パワーで固体レーザロッド202を励起する場合、固体レーザロッド202の熱破壊や熱ひずみが起るという課題があった。

【0019】また、従来例2の固体レーザ励起モジュールの場合も、従来例1の場合と同様に、集光された励起光205が第1の結晶207のスタック型半導体レーザ204側の端面207aから第1の結晶207に入射するため、一般的に直径が3mm～5mm程度の固体レーザロッド202と同径である第1の結晶207のスタック型半導体レーザ204側の端面207aが損傷しやすいという課題があった。

【0020】さらに、従来例2の固体レーザ励起モジュールでは、励起光205を集光するために、レンズダクト206を用いるため、固体レーザ励起モジュールが大きいという課題があった。

【0021】さらに、また、従来例2の固体レーザ励起モジュールでは、励起光205を集光するために、レンズダクト206を用い、レンズダクト206の固体レーザロッド202側の端面206aが第1の結晶207の近くへ位置するようにレンズダクト206を配置するため、第1の結晶207のスタック型半導体レーザ204側の端面207aに、発振光を全反射する膜を形成し、レーザ共振器を構成しなければならず、レーザ共振器の構成の自由度が小さいという課題があった。

【0022】この発明は上記のような課題を解決するた

めになされたもので、励起分布の均一度が高く、かつ端面励起型の構成をとらないために端面が損傷しにくく、さらに小型でレーザ共振器の構成の自由度が大きい固体レーザ励起モジュールを得ることを目的とする。

## 【0023】

【課題を解決するための手段】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、内周と外周とを有する第1の端面と、内周と外周とを有し第1の端面と略平行な第2の端面と、第1の端面の内周と第2の端面の内周とを接続し貫通孔を形成する内側側面と、第1の端面の外周と第2の端面の外周とを接続する外側側面とで取り囲まれ、内側側面と外側側面とが固体レーザロッドの長手方向軸を中心とした回転対称形であり、長手方向軸に垂直な断面での内側側面の大きさが第1の端面から第2の端面にわたって同一であり、長手方向軸に垂直な断面での外側側面の大きさが第1の端面から第2の端面に向かうにしたがって徐々に小さくなる形状のテーパ状透明ブロックと、テーパ状透明ブロックの貫通孔に設けられた固体レーザロッドと、テーパ状透明ブロックの第1の端面からテーパ状透明ブロックに励起光を入射させる半導体レーザと、固体レーザロッドとテーパ状透明ブロックの内側側面との間に設けられた熱接触手段と、テーパ状透明ブロックの外側側面に設けられた励起光反射手段とを備えたものである。

【0024】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、テーパ状透明ブロックの第1の端面の外周及び第2の端面の外周が円形であるものである。

【0025】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、テーパ状透明ブロックの第1の端面の外周及び第2の端面の外周が正多角形であるものである。

【0026】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、テーパ状透明ブロックの第1の端面の外周が長方形であり外側側面が互いに平行な二面と第1の端面から第2の端面に向かうにしたがって徐々に接近する二面とかなるものである。

【0027】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、固体レーザロッドの長手方向軸に垂直な断面の形状がテーパ状透明ブロックの第1の端面と同一である柱状の柱状透明ブロックを、テーパ状透明ブロックの第1の端面に設け、励起光反射手段を、柱状透明ブロックの外側側面に設けたものである。

【0028】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、テーパ状透明ブロックの第1の端面が凸形の曲率を有するものである。

【0029】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、半導体レーザを、固体レーザロッドの長手方向軸を中心として回転対称に設けたものである。

【0030】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、励起光反射手段が金属からなるものである。

【0031】この発明に係る固体レーザ励起モジュール

は、励起光反射手段が銅からなるものである。

【0032】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、励起光反射手段が励起光を拡散する特性を有する材料からなるものである。

【0033】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、励起光反射手段がセラミックからなるものである。

【0034】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、テーパ状透明ブロックの外側側面がグランドラフ面であるものである。

10 【0035】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、テーパ状透明ブロックの内側側面がグランドラフ面であるものである。

【0036】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、固体レーザロッドの側面がグランドラフ面であるものである。

【0037】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、テーパ状透明ブロックの屈折率が固体レーザロッドの屈折率より小さいものである。

20 【0038】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、固体レーザロッドが $Y_1A_1O_{12}$ をホスト材料とし、テーパ状透明ブロックがサファイヤからなるものである。

【0039】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、固体レーザロッドが $Y_1A_1O_{12}, YLiF_4, LiSrAlF_6$ 及び $LiCaAlF_6$ のうちのいずれかをホスト材料とし、テーパ状透明ブロックが $MgF_2$ からなるものである。

【0040】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、熱接触手段が液体からなるものである。

30 【0041】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、熱接触手段が固体レーザロッドの屈折率より小さく、テーパ状透明ブロックの屈折率より大きい屈折率を有するシリコーンオイルからなるものである。

【0042】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、熱接触手段が固体レーザロッドの屈折率より小さく、テーパ状透明ブロックの屈折率より大きい屈折率を有するエチレングリコール水溶液からなるものである。

40 【0043】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、固体レーザロッドを固定するとともに熱接触手段をシールする固定シール手段を、固体レーザロッドの側面とテーパ状透明ブロックの第1及び第2の端面との間に設けたものである。

【0044】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、固定シール手段がシリコーンゴムからなるものである。

【0045】この発明に係る固体レーザ励起モジュールは、内周と外周とを有する第1の端面と、内周と外周とを有し第1の端面と略平行な第2の端面と、第1の端面の内周と第2の端面の内周とを接続し貫通孔を形成する内側側面と、第1の端面の外周と第2の端面の外周とを

接続する外側側面と取り囲まれ、内側側面と外側側面とが固体レーザロッドの長手方向軸を中心とした回転対称形であり、長手方向軸に垂直な断面での内側側面の大きさが第1の端面から第2の端面にわたって同一であり、長手方向軸に垂直な断面での外側側面の大きさが第1の端面から第2の端面に向かうにしたがって徐々に小さくなる形状の第1のテーパ状透明ブロックと、第1のテーパ状透明ブロックと同一形状であり、第2の端面が第1のテーパ状透明ブロックの第2の端面と対向して位置する第2のテーパ状透明ブロックとを備えたものである。

## 【0046】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の一形態を説明する。

実施の形態1. 図1はこの発明の実施の形態1による固体レーザ励起モジュールを示す構成図である。図1において、1は固体レーザ励起モジュール、2はテーパ状透明ブロック、3は固体レーザロッド、4は半導体レーザ、5は熱接触手段、6は励起光反射手段である。テーパ状透明ブロック2は、内周と円形の外周とを有する第1の端面2aと、内周と円形の外周とを有し第1の端面2aと略平行な第2の端面2bと、第1の端面2aの内周と第2の端面2bの内周とを接続し貫通孔2eを形成する内側側面2cと、第1の端面2aの外周と第2の端面2bの外周とを接続する外側側面2dとで取り囲まれ、内側側面2cと外側側面2dとが固体レーザロッド3の長手方向軸Xを中心とする回転対称形であり、長手方向軸Xに垂直な断面での内側側面2cの大きさが第1の端面2aから第2の端面2bにわたって同一であり、長手方向軸Xに垂直な断面での外側側面2dの大きさが第1の端面2aから第2の端面2bに向かうにしたがって徐々に小さくなる形状をしている。すなわち、テーパ状透明ブロック2は、固体レーザロッド3の長手方向軸Xに垂直な断面での外側側面2dの形状が円形であり、その半径の大きさが第1の端面2aから第2の端面2bに向かうにしたがって徐々に小さくなる形状をしている。このテーパ状透明ブロック2は、テーパ状透明ブロック2に入射した励起光及びテーパ状透明ブロック2に入射し励起光反射手段6で反射した励起光を伝搬するため、励起光に対して透明な材料からなる。また、このテーパ状透明ブロック2は、熱接触手段5を介して伝導してきた固体レーザロッド3が発する熱を外側側面2dへ伝導するため、熱伝導率の高い材料からなる。

【0047】固体レーザロッド3は、テーパ状透明ブロック2の貫通孔2eに設けられている。

【0048】半導体レーザ4は、固体レーザロッド3を固体レーザロッド3を励起するための励起光をテーパ状透明ブロック2の第1の端面2aに向けて出射し、テーパ状透明ブロック2の第1の端面2aからテーパ状透明ブロック2に励起光を入射させる。

【0049】熱接触手段5は、固体レーザロッド3とテーパ状透明ブロック2の内側側面2cとの間に設けられている。この熱接触手段5は、テーパ状透明ブロック2に入射した励起光を吸収した固体レーザロッド3が発する熱をテーパ状透明ブロック2へ伝導する。また、この熱接触手段5は励起光に対して透明な材料からなる。

【0050】励起光反射手段6は、テーパ状透明ブロック2の外側側面2dに設けられている。この励起光反射手段6は、テーパ状透明ブロック2に入射した励起光を反射する。

【0051】この実施の形態1の固体レーザ励起モジュール1では、励起光の吸収効率を高くすることができる。また、固体レーザロッド3の長手方向及び長手方向と垂直な面内における励起分布の均一度を高くすることができる。また、固体レーザロッド3の長手方向と垂直な面内における固体レーザロッド3内の温度分布を回転対称ににすることができる。以下、その詳細について説明する。

【0052】図2は半導体レーザから出射した励起光の伝搬の様子を示す概略図である。図2に示すように、半導体レーザ4から出射した励起光は、テーパ状透明ブロック2の第1の端面2aからテーパ状透明ブロック2に入射する。テーパ状透明ブロック2に入射した励起光は、テーパ状透明ブロック2の外側側面2dに設けられた励起光反射手段6による反射を繰り返しながら、テーパ状透明ブロック2内及び固体レーザロッド3内を伝搬する。励起光は、固体レーザロッド3内を伝搬する間に、固体レーザロッド3に吸収される。

【0053】励起光を吸収した固体レーザロッド3が発する熱は、テーパ状透明ブロック2及びテーパ状透明ブロック2を伝導してテーパ状透明ブロック2の外側側面2dから外部に排出される。

【0054】このように、この実施の形態1の固体レーザ励起モジュール1では、テーパ状透明ブロック2に入射した励起光は、励起光反射手段6による反射を繰り返しながら何度も固体レーザロッド3内を伝搬するため、励起光の吸収効率を高くすることができる。

【0055】また、この実施の形態1の固体レーザ励起モジュール1では、励起光が固体レーザロッド3に吸収されない場合、第1の端面2aから第2の端面2bに向かうにしたがって励起光の密度が大きくなるが、実際には、励起光は、固体レーザロッド3内を伝搬する間に、固体レーザロッド3に吸収され、励起光の密度が第1の端面2aから第2の端面2bにわたって均一となるため、固体レーザロッド3の長手方向における励起分布の均一度を高くすることができる。

【0056】さらに、この実施の形態1の固体レーザ励起モジュール1では、テーパ状透明ブロック2に入射した励起光は、励起光反射手段6による反射を繰り返しながら固体レーザロッド3のあらゆる方向から固体レーザ

ロッド3に入射するため、固体レーザロッド3の長手方向に垂直な面内における励起分布の均一度を高くすることができます。

【0057】さらに、この実施の形態1の固体レーザ励起モジュール1では、固体レーザロッド3の側面3cより広い面積を有する、固体レーザロッド3の長手方向軸Xを中心とする回転対称形であるテーパ状透明ブロック2の外側側面2dから、固体レーザロッド3が発する熱を回転対称に排出するため、固体レーザロッド3の長手方向と垂直な面内における固体レーザロッド3内の温度分布を回転対称にすることがことができる。その結果、発振光に収差を与えにくくなる。

【0058】さらに、この実施の形態1の固体レーザ励起モジュール1では、テーパ状透明ブロック2は、熱伝導率の高い材料からなるため、高平均パワーで固体レーザロッド3を励起する場合でも固体レーザロッド3内の温度はそれほど上昇しない。

【0059】このような固体レーザ励起モジュール1において、励起光の吸収効率をより高くするためには、励起光反射手段6を、テーパ状透明ブロック2の第2の端面2bや固体レーザロッド3の第2の端面3bにも設けるのがよい。固体レーザロッド3の第2の端面3bに設ける励起光反射手段6は、例えば、励起光を全反射しつつ発振光の反射を減少させる膜（すなわち励起光にとってHR膜として機能し発振光にとってAR膜として機能する膜）である。このように、励起光反射手段6を、テーパ状透明ブロック2の第2の端面2bや固体レーザロッド3の第2の端面3bに設けた場合、テーパ状透明ブロック2に入射した励起光を、テーパ状透明ブロック2内に閉じ込めることができる。なお、このような場合でも、テーパ状透明ブロック2に入射した励起光は、テーパ状透明ブロック2の第1の端面2aから漏れるが、既に固体レーザロッド3にはほとんど吸収されているため、励起光の漏れは少ない。励起光の吸収効率をさらに高くするためには、励起光反射手段6を、テーパ状透明ブロック2の第1の端面2aのうち、励起光が入射する部分以外の部分に設けるのがよい。

【0060】また、このような固体レーザ励起モジュール1において、固体レーザロッド3の長手方向と垂直な面内における励起分布の均一度を高くするためには、半導体レーザ4を、固体レーザロッド3の長手方向軸Xを中心として回転対称に設けるのがよい。図1では、固体レーザロッド3の長手方向軸Xを中心として、2個の半導体レーザ4を回転対称に設けた場合について示している。より好ましくは、2個以上の半導体レーザ4を、固体レーザロッド3の長手方向軸Xを中心として回転対称に設けるのがよい。

【0061】さらに、このような固体レーザ励起モジュール1において、励起光の吸収効率を高くするためには、反射率の高い金属により励起光反射手段6を形成す

10 るのがよい。テーパ状透明ブロック2に入射した励起光は、励起光反射手段6により多数回反射するため、励起光反射手段6への入射角度が広範囲にわたる。従って、より好ましくは、入射角度によらず反射率の高い金属により励起光反射手段6を形成するのがよい。図3は、各種金属材料の入射角度依存性の計算結果を示す特性図である。図3(a)は金、図3(b)は銀、図3(c)は銅、図3(d)はクロムの特性図である。図3(a)～(d)では、横軸に入射角度をとり、縦軸に反射率をとって示している。また、図3では励起光として一般的に用いられる波長800nmの光に対する特性を示している。また、図3(a)～(d)では、P偏光に対する特性を曲線aで示し、S偏光に対する特性を曲線bで示している。図3に示すように、金、銀及び銅は、入射角度の全範囲にわたって反射率が高いため、金、銀及び銅のうちのいずれかにより励起光反射手段6を形成するのがよい。より好ましくは、最も反射率の高い銅により励起光反射手段6を形成するのがよい。金属からなる励起光反射手段6を形成する方法としては、蒸着により形成する方法がある。なお、銀や銅により励起光反射手段6を形成する場合には、さらに酸化防止用の保護膜を設ける必要がある。

【0062】さらに、このような固体レーザ励起モジュール1において、励起分布の均一度を高くするためには、テーパ状透明ブロック2の内側側面2cやテーパ状透明ブロック2の外側側面2dや固体レーザロッド3の側面3cをグランドラフ面とするのがよい。このように、テーパ状透明ブロック2の内側側面2cやテーパ状透明ブロック2の外側側面2dや固体レーザロッド3の側面3cをグランドラフ面とした場合、励起光がグランドラフ面で拡散する。拡散効果が得られる表面粗度としては、励起光の波長の数倍から10倍程度、すなわち数μmから10μmがよい。ただし、テーパ状透明ブロック2の内側側面2cや固体レーザロッド3の側面3cをグランドラフ面とする場合には、屈折率差が大きい方が同じ表面粗度でも拡散効果が大きいので、熱接触手段5の屈折率も考慮して表面粗度を決める必要がある。グランドラフ面を形成する方法としては、機械的研磨により形成する方法や化学処理により形成する方法があるが、40 クラックの発生などを防止できることから化学処理により形成する方法がよい。

【0063】さらに、このような固体レーザ励起モジュール1において、励起分布の均一度を高くするためには、励起光を拡散する特性を有する材料により励起光反射手段6を形成するのがよい。このような材料としては、各種のセラミックやBaSO<sub>4</sub>、粉末や例えはスペクトラロン（商品名、Lab Sphere社製）等の高反射性樹脂などがあるが、加工性の良さからセラミックがよい。

【0064】さらに、このような固体レーザ励起モジュ

ール1において、励起分布の均一度を高くするために、励起光の波長に対する固体レーザロッド3の吸収係数を低くして、固体レーザロッド3内を一回伝搬するときの励起光の吸収量を低くするのがよい。このように、励起光の波長に対する固体レーザロッド3の吸収係数を低くした場合、固体レーザロッド3の特定の位置で励起光が強く吸収されることはない。励起光の波長に対する固体レーザロッド3の吸収係数を低くする方法としては、固体レーザロッド3中の活性イオン濃度を低くする方法や半導体レーザ4の発振波長幅を広くする方法や半導体レーザ4の発振波長を固体レーザロッド3の吸収ピーク波長からずらす方法がある。

【0065】さらに、このような固体レーザ励起モジュール1において、励起光の吸収効率を高くするために、テーパ状透明ブロック2の屈折率n<sub>b</sub>を固体レーザロッド3の屈折率n<sub>r</sub>より小さくするのがよい。図4はテーパ状透明ブロックの屈折率と固体レーザロッドの屈折率との大小関係による励起光の伝搬の相違を示す概略図である。図4では熱接触手段5の屈折率がテーパ状透明ブロック2の屈折率n<sub>b</sub>と等しい場合について示している。また、図4ではテーパ状透明ブロック2の屈折率n<sub>b</sub>が固体レーザロッド3の屈折率n<sub>r</sub>より小さい場合(n<sub>b</sub> < n<sub>r</sub>)の励起光の伝搬を実線で示し、テーパ状透明ブロック2の屈折率n<sub>b</sub>が固体レーザロッド3の屈折率n<sub>r</sub>より大きい場合(n<sub>b</sub> > n<sub>r</sub>)の励起光の伝搬を破線で示している。図4に示すように、テーパ状透明ブロック2の屈折率n<sub>b</sub>が固体レーザロッド3の屈折率n<sub>r</sub>より小さい場合、固体レーザロッド3への励起光の入射角度によらず、励起光は固体レーザロッド3に入射する。一方、テーパ状透明ブロック2の屈折率n<sub>b</sub>が固体レーザロッド3の屈折率n<sub>r</sub>より大きい場合、固体レーザロッド3への励起光の入射角度がSIN<sup>-1</sup>(n<sub>b</sub> / n<sub>r</sub>)以上となると、励起光は全反射し固体レーザロッド3に入射しない。テーパ状透明ブロック2の屈折率n<sub>b</sub>を固体レーザロッド3の屈折率n<sub>r</sub>より小さくするためには、固体レーザロッド3のホスト材料がY<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>(YAG)(屈折率1.82)である場合には、テーパ状透明ブロック2をサファイヤ(屈折率1.76)及びMgF<sub>2</sub>(屈折率1.37)のうちのいずれかにより形成し、固体レーザロッド3のホスト材料がYLiF<sub>4</sub>(YLF)(屈折率1.47)、LiSrAlF<sub>6</sub>(LiSAF)(屈折率1.4)及びLiCaAlF<sub>6</sub>(LiCAF)(屈折率1.39)のうちのいずれかである場合には、テーパ状透明ブロック2をMgF<sub>2</sub>(屈折率1.37)により形成するのがよい。サファイヤ(熱伝導率は28W/m·K)やMgF<sub>2</sub>(熱伝導率28W/m·K)は熱伝導率が高いため、これらによりテーパ状透明ブロック2を形成した場合、熱接触手段5を介してテーパ状透明ブロック2に伝導してきた固体レーザロッド3が発する熱を効率よく外部へ伝導することが

できる。

【0066】さらに、このような固体レーザ励起モジュール1において、励起光の吸収効率を高くするためにには、テーパ状透明ブロック2の第1の端面2aに、柱状の柱状透明ブロックを設け、柱状透明ブロックの外側側面に励起光反射手段を設けるのがよい。図5はテーパ状透明ブロックの第1の端面に柱状透明ブロックを設けた場合と柱状透明ブロックを設けなかった場合の励起光の伝搬の相違を示す概略図である。図5(a)は柱状透明ブロックを設けた場合を示し、図5(b)は柱状透明ブロックを設けなかった場合を示す。図5(a)において、7は柱状透明ブロック、9は励起光反射手段である。柱状透明ブロック7は、内周と円形の外周とを有する底面7aと、内周と円形の外周とを有し底面7aと略平行な頂面7bと、底面7aの内周と頂面7bの内周とを接続し貫通孔7eを形成する内側側面7cと、底面7aの外周と頂面7bの外周とを接続する外側側面7dとで取り囲まれ、内側側面7cと外側側面7dとが固体レーザロッド3の長手方向軸Xを中心とする回転対称形であり、長手方向軸Xに垂直な断面の形状がテーパ状透明ブロック2の第1の端面2aと同一である形状をしている。この柱状透明ブロック7は、柱状透明ブロック7に入射した励起光及び柱状透明ブロック7に入射し励起光反射手段9で反射した励起光を伝搬するため、励起光に対して透明な材料からなる。また、励起光反射手段9は、柱状透明ブロック7の外側側面7dに設けられている。この励起光反射手段9は、柱状透明ブロック7に入射した励起光を反射する。図5(b)に示すように、テーパ状透明ブロック2の第1の端面2aに、柱状透明ブロック7を設けなかった場合、励起光の出射角が大きくなると、テーパ状透明ブロック2に入射した励起光は少ない反射回数でテーパ状透明ブロック2の第1の端面2aから漏れるが、図5(a)に示すように、テーパ状透明ブロック2の第1の端面2aに、柱状透明ブロック7を設けた場合、出射角の大きい励起光は柱状透明ブロック7に入射し、柱状透明ブロック7の外側側面7dに設けられた励起光反射手段9によりテーパ状透明ブロック2の第2の端面2b方向に反射するため、励起光の漏れが少なくなる。柱状透明ブロック7をテーパ状透明ブロック2の第1の端面2aに設ける方法としては、柱状透明ブロック7をテーパ状透明ブロック2の第1の端面2aにオプティカルコンタクトやディフュージョンボンディングなどにより接着する方法や、柱状透明ブロック7とテーパ状透明ブロック2を一体成形する方法がある。【0067】さらに、このような固体レーザ励起モジュール1において、励起光の吸収効率を高くするためにには、テーパ状透明ブロック2の第1の端面2aに凸形の曲率を与えるのがよい。図6はテーパ状透明ブロックの第1の端面に凸形の曲率を与えた場合の励起光の伝搬の様子を示す概略図である。テーパ状透明ブロック2の第

1の端面2aに凸形の曲率を与えた場合、励起光の出射角が大きくなると、テーパ状透明ブロック2に入射した励起光は少ない反射回数でテーパ状透明ブロック2の第1の端面2aから漏れるが、図6に示すように、テーパ状透明ブロック2の第1の端面2aに凸形の曲率を与えた場合、第1の端面2aがレンズのように機能し、出射角の大きい励起光は内側に屈折するため、励起光の漏れが少なくなる。励起光の出射角が方向により異なる場合には、励起光の出射角が大きい方向に対してのみ、テーパ状透明ブロック2の第1の端面2aに凸形の曲率を与えるよい。半導体レーザ4の励起光の出射角は、一般的に、出射角の大きい方向とそれに垂直な出射角の小さい方向とがある。

【0068】さらに、このような実施の形態1の固体レーザ励起モジュール1では、熱接触手段5を液体により形成するのがよい。熱接触手段5を液体により形成した場合、テーパ状透明ブロック2と固体レーザロッド3との熱膨脹率の相違による破断のおそれなく、交換もしやすい。熱接触手段5をエポキシ系の接着剤により形成することも可能であるが、熱接触手段5をエポキシ系の接着剤により形成した場合、テーパ状透明ブロック2と固体レーザロッド3との熱膨脹率の相違により破断する恐れがあり、交換もしにくい。熱接触手段5の屈折率がテーパ状透明ブロック2の屈折率n<sub>b</sub>より高く固体レーザロッド3の屈折率n<sub>r</sub>より小さい場合、励起光の吸収効率を高くすることができるため、テーパ状透明ブロック2がMgF<sub>2</sub>（屈折率1.37）からなり、固体レーザロッド3のホスト材料がYAG（屈折率1.82）、YLF（屈折率1.47）、LiSAF（屈折率1.4）及びLiCAF（屈折率1.39）のうちのいずれかである場合、光ファイバ通信などによく用いられる屈折率調整剤であるシリコーンオイルや循環冷却型の固体レーザ装置でよく用いられるエチレングリコール水溶液により熱接触手段5を形成するのがよい。シリコーンオイルは、市販品において屈折率1.38～1.53に調整可能であり、エチレングリコール水溶液は、濃度を変えることにより屈折率1.37～1.42に調整可能である。

【0069】さらに、このような実施の形態1の固体レーザ励起モジュール1では、固体レーザロッド3を固定する必要がある。また、熱接触手段5が液体からなる場合、テーパ状透明ブロック2の貫通孔2eから熱接触手段5が漏れないように、熱接触手段5をシールする必要がある。このため、固体レーザロッド3を固定をするとともに熱接触手段5をシールする固定シール手段を用いるのがよい。固体レーザ励起モジュール1の組立の容易性や固定の容易性から、固体レーザロッド3の第1及び第2の端部3a、3bがテーパ状透明ブロック2の貫通孔2eから突出しているため、この固定シール手段を、固体レーザロッド3の側面3cとテーパ状透明ブロック

2の第1及び第2の端面2a、2bとの間に設ける。図7はこの発明の実施の形態1による固体レーザ励起モジュールの固定シール手段を示す概略図である。図7(a)は図1のP方向から見た正面図であり、図7(b)は図7(a)のI-I線に沿った断面図である。図7において、8は固体レーザロッド3を固定をするとともに熱接触手段5をシールする固定シール手段である。図7に示すように、テーパ状透明ブロック2の第1の端面2aから突出した固体レーザロッド3の第1の端面3aと固定レーザロッド3の側面3cとの間、及びテーパ状透明ブロック2の第2の端面2bから突出した固体レーザロッド3の第2の端面3bと固定レーザロッド3の側面3cとの間に固定シール手段8を設けた場合、固体レーザロッド3を固定するとともに熱接触手段5をシールすることができる。このような固定シール手段8は、シリコーンゴムにより形成するのがよい。固定シール手段8をシリコーンゴムにより形成した場合、テーパ状透明ブロック2と固体レーザロッド3との熱膨脹率の相違による応力を緩和することができる。より好ましくは、このような固定シール手段8は、空気中の湿気とゴム状に硬化し-50°C程度でも劣化しない、一般にRTVゴムと呼ばれるシリコーンゴムを用いるのがよい。RTVゴムはアウトガスが少ないため、固体レーザロッド3の第1及び第2の端面3a、3bの近くでアウトガスが発生し、発振光による第1及び第2の端面3a、3bへの焼き付けが起り、損傷を起こす危険が少ない。

【0070】さらに、この実施の形態1の固体レーザ励起モジュール1では、励起光を吸収した固体レーザロッド3が発する熱を、テーパ状透明ブロック2の外側側面2dから外部に排出する。その方法としては、テーパ状透明ブロック2の外側に水を流す方法や、テーパ状透明ブロック2の外側側面2dにヒートシンクを配置する方法がある。ヒートシンクを配置する方法の場合には、テーパ状透明ブロック2とヒートシンクとの間にインジウムや金などからなる金属膜をはさむことにより熱接触を高くする。また、衛星に搭載する場合には、ヒートシンクから熱抵抗の低いヒートパイプを通してヒートパネル等に熱を伝導し、宇宙空間に排出する。

【0071】さらに、この実施の形態1の固体レーザ励起モジュール1では、励起光を吸収した固体レーザロッド3が発する熱を効率よく外部に排出する方法として、固体レーザロッド3とテーパ状透明ブロック2の内側側面2cとの間に水を流しこの流れる水を熱接触手段5とする方法もある。

【0072】さらに、このような実施の形態1の固体レーザ励起モジュール1では、固体レーザロッド3の第1の端面3aに発振光を全反射する膜（すなわち、発振光にとってHR膜として機能する膜）を形成してレーザ共振器を構成することもできるし、固体レーザロッド3の第1の端面3aに発振光の反射を減少させる膜（すなわ

ち、発振光にとってAR膜として機能する膜)を形成し固体レーザロッド3の長手方向軸Xの第1の端面3a側の延長上に全反射光を配置することによりレーザ共振器を構成することもできる。なお、この場合、固体レーザロッド3の第2の端部3bには、発振光の反射を減少させる膜(すなわち、発振光にとってAR膜として機能する膜)を形成し固体レーザロッド3の長手方向軸Xの第2の端面3b側の延長上に部分反射光を配置する。

【0073】以上のように、この実施の形態1によれば、テーパ状透明ブロック2に入射した励起光は、励起光反射手段6での反射を繰り返しながら何度も固体レーザロッド3内を伝搬するため、励起光の吸収効率を高くすることができる効果が得られる。

【0074】また、この実施の形態1によれば、テーパ状透明ブロック2に入射した励起光は、励起光反射手段6での反射を繰り返しながら固体レーザロッド3のあらゆる方向から固体レーザロッド3に入射するため、固体レーザロッド3の長手方向に垂直な面内における励起分布の均一度を高くすることができる効果が得られる。

【0075】さらに、この実施の形態1によれば、励起光の密度が第1の端面2aから第2の端面2bにわたって略均一となるため、固体レーザロッド3の長手方向における励起分布の均一度を高くすることができる効果が得られる。

【0076】さらに、この実施の形態1によれば、励起光は集光することなしに、広いテーパ状透明ブロック2の第1の端面2aからテーパ状透明ブロック2に入射するため、従来のような端面の損傷の問題はないという効果が得られる。

【0077】さらに、この実施の形態1によれば、従来のように励起光を集光する必要がないため、レンズダクト等の集光手段を用いる必要がなく、固体レーザ励起モジュールが小型化するという効果が得られる。

【0078】さらに、この実施の形態1によれば、従来のように励起光を集光する必要がないため、必ずしも、固体レーザロッド3の第1の端面3aに発振光を全反射する膜を形成する必要がなく、レーザ共振器の構成の自由度が大きくなるという効果が得られる。

【0079】さらに、この実施の形態1によれば、固体レーザロッド3の側面3cより広い面積を有する、固体レーザロッド3の長手方向軸Xを中心とする回転対称形であるテーパ状透明ブロック2の外側側面2dから、固体レーザロッド3が発する熱を回転対称に排出するため、固体レーザロッド3の長手方向と垂直な面内における固体レーザロッド3内の温度分布を回転対称にすることができる効果が得られる。

【0080】実施の形態2、図8はこの発明の実施の形態2による固体レーザ励起モジュールを示す構成図である。図8において、11は固体レーザ励起モジュール、12はテーパ状透明ブロックである。

【0081】テーパ状透明ブロック12は、内周と正方形の外周とを有する第1の端面12aと、内周と正方形の外周とを有し第1の端面12aと略平行な第2の端面12bと、第1の端面12aの内周と第2の端面12bの内周とを接続し貫通孔12cを形成する内側側面12cと、第1の端面12aの外周と第2の端面12bの外周とを接続する外側側面12dとで取り囲まれ、内側側面12cと外側側面12dとが固体レーザロッド3の長手方向軸Xを中心とする回転対称形であり、長手方向軸Xに垂直な断面での内側側面12cの大きさが第1の端面12aから第2の端面12bにわたって同一であり、長手方向軸Xに垂直な断面での外側側面12dの大きさが第1の端面12aから第2の端面12bに向かうにしたがって徐々に小さくなる形状をしている。すなわち、テーパ状透明ブロック12は、固体レーザロッド3の長手方向軸Xに垂直な断面での外側側面12dの形状が正方形であり、その一辺の長さが第1の端面12aから第2の端面12bに向かうにしたがって徐々に小さくなる形状をしている。このテーパ状透明ブロック12は、実施の形態1の場合と同様に、テーパ状透明ブロック12に入射した励起光及びテーパ状透明ブロック12に入射し励起光反射手段6で反射した励起光を伝搬するため、励起光に対して透明な材料からなる。また、このテーパ状透明ブロック12は、実施の形態1の場合と同様に、熱接触手段5を介して伝導してきた固体レーザロッド3が発する熱を外側側面12dへ伝導するため、熱伝導率の高い材料からなる。

【0082】その他の構成要素は、図1において同一符号を付して示したものと同一あるいは同等であるため、30 その詳細な説明は省略する。

【0083】この実施の形態2の固体レーザ励起モジュール11では、テーパ状透明ブロック12の長手方向軸Xに垂直な断面でのテーパ状透明ブロック12の外側側面12dの形状が正方形であるため、テーパ状透明ブロック12の平坦な外側側面12dにヒートシンクを配置することにより、励起光を吸収した固体レーザロッド3が発する熱を外部に排出することができ、ヒートシンクによる排熱が容易になる。テーパ状透明ブロック12の長手方向軸Xに垂直な断面でのテーパ状透明ブロック12の外側側面12dの形状が正方形である場合に限らず、他の正多角形である場合であっても同様である。

【0084】なお、この実施の形態2の固体レーザ励起モジュール11では、実施の形態1と同様な効果も得られる。

【0085】実施の形態3、図9はこの発明の実施の形態3による固体レーザ励起モジュールを示す構成図である。図9において、21は固体レーザ励起モジュール、22はテーパ状透明ブロックである。

【0086】テーパ状透明ブロック22は、内周と長方

形の外周とを有する第1の端面22aと、内周と長方形の外周とを有し第1の端面22aと略平行な第2の端面22bと、第1の端面22aの内周と第2の端面22bの内周とを接続し貫通孔22eを形成する内側側面22cと、第1の端面22aの外周と第2の端面22bの外周とを接続する外側側面22dとで取り囲まれ、内側側面22cと外側側面22dとが固体レーザロッド3の長手方向軸Xを中心とする回転対称形であり、長手方向軸Xに垂直な断面での内側側面22cの大きさが第1の端面22aから第2の端面22bにわたって同一であり、長手方向軸Xに垂直な断面での外側側面22dの大きさが第1の端面22aから第2の端面22bに向かうにしたがって徐々に小さくなる形状をしている。すなわち、テーパ状透明ブロック22は、固体レーザロッド3の長手方向軸Xに垂直な断面での外側側面22dの形状が長方形であり、外側側面22dが互いに平行な二面と第1の端面22aから第2の端面22bに向かうにしたがって徐々に接近する二面とからなる形状をしている。このテーパ状透明ブロック22は、実施の形態1の場合と同様に、テーパ状透明ブロック22に入射した励起光及びテーパ状透明ブロック22に入射し励起光反射手段6で反射した励起光を伝搬するため、励起光に対して透明な材料からなる。また、このテーパ状透明ブロック22は、実施の形態1の場合と同様に、熱接触手段5を介して伝導してきた固体レーザロッド3が発する熱を外側側面22dへ伝導するため、熱伝導率の高い材料からなる。

【0087】その他の構成要素は、図1において同一符号を付して示したものと同一あるいは同等であるため、その詳細な説明は省略する。

【0088】この実施の形態3の固体レーザ励起モジュール21では、テーパ状透明ブロック22の外側側面22dが互いに平行な二面と第1の端面22aから第2の端面22bに向かうにしたがって徐々に接近する二面とからなるため、テーパ状透明ブロック22の互いに平行な二面にヒートシンクを配置することにより、励起光を吸収した固体レーザロッド3が発する熱を外部に排出することができ、ヒートシンクによるテーパ状透明ブロック22の保持やヒートシンクによる排熱が容易になる。ただし、ヒートシンクをテーパ状透明ブロック22の互いに平行な二面に配置した場合には、ヒートシンクを配置する面からの排熱が激しくなるため、固体レーザロッド3の長手方向と垂直な面内における固体レーザロッド3内の温度分布を回転対称にするには、ヒートシンクとテーパ状透明ブロック22との間に、ヒートシンクに比べて熱電導率が低い溶剤等からなる熱接触手段を配置するのがよい。より好ましくは、ヒートシンクと固体レーザロッド3との間の距離に応じて熱接触手段の厚さを変えて熱接触手段を配置するのがよい。図10はヒートシンクとテーパ状透明ブロックとの間に、ヒートシンクに

比べて熱電導率が低い熱接触手段を配置した状態を示す概略図である。図10において、23はヒートシンクに比べて熱電導率が低い熱接触手段、24はヒートシンクである。図10では、熱接触手段23の厚さが、ヒートシンク24と固体レーザロッド3との間の距離に応じて変化している場合を示している。

【0089】なお、この実施の形態3の個体レーザ励起モジュール21では、実施の形態1と同様な効果も得られる。

10 【0090】実施の形態4。図11はこの発明の実施の形態4による固体レーザ励起モジュールを示す構成図である。図において、31は固体レーザ励起モジュール、32は第1のテーパ状透明ブロック、33は第2のテーパ状透明ブロックである。

【0091】第1のテーパ状透明ブロック32は、内周と円形の外周とを有する第1の端面32aと、内周と円形の外周とを有し第1の端面32aと略平行な第2の端面32bと、第1の端面32aの内周と第2の端面32bの内周とを接続し貫通孔32eを形成する内側側面32cと、第1の端面32aの外周と第2の端面32bの外周とを接続する外側側面32dとで取り囲まれ、内側側面32cと外側側面32dとが固体レーザロッド3の長手方向軸Yを中心とする回転対称形であり、長手方向軸Yに垂直な断面での内側側面32cの大きさが第1の端面32aから第2の端面32bにわたって同一であり、長手方向軸Yに垂直な断面での外側側面32dの大きさが第1の端面32aから第2の端面32bに向かうにしたがって徐々に小さくなる形状をしている。すなわち、第1のテーパ状透明ブロック32は、固体レーザロッド3の長手方向軸Yに垂直な断面での外側側面32dの形状が円形であり、その半径の大きさが第1の端面32aから第2の端面32bに向かうにしたがって徐々に小さくなる形状をしている。この第1のテーパ状透明ブロック32は、第1のテーパ状透明ブロック32に入射した励起光及び第1のテーパ状透明ブロック32に入射し励起光反射手段6で反射した励起光を伝搬するため、励起光に対して透明な材料からなる。また、この第1のテーパ状透明ブロック32は、熱接触手段5を介して伝導してきた固体レーザロッド3が発する熱を外側側面32dへ伝導するため、熱伝導率の高い材料からなる。

【0092】第2のテーパ状透明ブロック33は、内周と円形の外周とを有する第1の端面33aと、内周と円形の外周とを有し第1の端面33aと略平行な第2の端面33bと、第1の端面33aの内周と第2の端面33bの内周とを接続し貫通孔33eを形成する内側側面33cと、第1の端面33aの外周と第2の端面33bの外周とを接続する外側側面33dとで取り囲まれ、内側側面33cと外側側面33dとが固体レーザロッド3の長手方向軸Yを中心とする回転対称形であり、長手方向軸Yに垂直な断面での内側側面33cの大きさが第1の

50 端面33aから第2の端面33bにわたって同一であり、長手方向軸Yに垂直な断面での外側側面33dの大きさが第1の端面33aから第2の端面33bに向かうにしたがって徐々に小さくなる形状をしている。すなわち、第1のテーパ状透明ブロック32は、固体レーザロッド3の長手方向軸Yに垂直な断面での外側側面32dの形状が円形であり、その半径の大きさが第1の端面32aから第2の端面32bに向かうにしたがって徐々に小さくなる形状をしている。この第1のテーパ状透明ブロック32は、第1のテーパ状透明ブロック32に入射した励起光及び第1のテーパ状透明ブロック32に入射し励起光反射手段6で反射した励起光を伝搬するため、励起光に対して透明な材料からなる。また、この第1のテーパ状透明ブロック32は、熱接触手段5を介して伝導してきた固体レーザロッド3が発する熱を外側側面32dへ伝導するため、熱伝導率の高い材料からなる。

端面33aから第2の端面33bにわたって同一であり、長手方向軸Yに垂直な断面での外側側面33dの大きさが第1の端面33aから第2の端面33bに向かうにしたがって徐々に小さくなる形状をしている。すなわち、第2のテーパ状透明ブロック33は、固体レーザロッド3の長手方向軸Yに垂直な断面での外側側面33dの形状が円形であり、その半径の大きさが第1の端面33aから第2の端面33bに向かうにしたがって徐々に小さくなる形状をしている。この第2のテーパ状透明ブロック33は、第2のテーパ状透明ブロック33に入射した励起光及び第2のテーパ状透明ブロック33に入射し励起光反射手段6で反射した励起光を伝搬するため、励起光に対して透明な材料からなる。また、この第2のテーパ状透明ブロック33は、熱接触手段5を介して伝導してきた固体レーザロッド3が発する熱を外側側面33dへ伝導するため、熱伝導率の高い材料からなる。

【0093】固体レーザロッド3は、第1の端面3aが第1のテーパ状透明ブロック32側に位置し第2の端面3bが第2のテーパ状透明ブロック33側に位置するように、第1及び第2のテーパ状透明ブロック32、33の貫通孔32e、33eに設けられている。

【0094】半導体レーザ4は、固体レーザロッド3を励起するための励起光を第1のテーパ状透明ブロック32の第1の端面32a及び第2のテーパ状透明ブロック33の第1の端面33aに向けて出射し、第1のテーパ状透明ブロック32の第1の端面32a及び第2のテーパ状透明ブロック33の第1の端面33aから第1のテーパ状透明ブロック32及び第2のテーパ状透明ブロック33に励起光を入射させる。

【0095】熱接触手段5は、固体レーザロッド3と第1のテーパ状透明ブロック32の内側側面32cとの間及び固体レーザロッド3と第2のテーパ状透明ブロック33の内側側面33cとの間に設けられている。この熱接触手段5は、第1及び第2のテーパ状透明ブロック32、33に入射した励起光を吸収した固体レーザロッド3が発する熱を第1及び第2のテーパ状透明ブロック32、33へ伝導する。また、この熱接触手段5は励起光に対して透明な材料からなる。

【0096】励起光反射手段6は、第1のテーパ状透明ブロック32の外側側面32d及び第2のテーパ状透明ブロック33の外側側面33dに設けられている。この励起光反射手段6は、第1及び第2のテーパ状透明ブロック32、33に入射した励起光を反射する。

【0097】このように、この実施の形態4の固体レーザ励起モジュール31では、同一形状の第1及び第2のテーパ状透明ブロック32、33が、それぞれの第2の端面32b、33bが対向して位置するように構成されているため、半導体レーザ4の数を二倍に増やすことができ、高平均パワーで固体レーザロッド3を励起して高出力化を図ることができる。

【0098】なお、この実施の形態4の固体レーザ励起モジュール31では、実施の形態1と同様な効果も得られる。

【0099】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、内周と外周とを有する第1の端面と、内周と外周とを有し第1の端面と略平行な第2の端面と、第1の端面の内周と第2の端面の内周とを接続し貫通孔を形成する内側側面と、第1の端面の外周と第2の端面の外周とを接続する外側側面とで取り囲まれ、内側側面と外側側面とが固体レーザロッドの長手方向軸を中心とした回転対称形であり、長手方向軸に垂直な断面での内側側面の大きさが第1の端面から第2の端面にわたって同一であり、長手方向軸に垂直な断面での外側側面の大きさが第1の端面から第2の端面に向かうにしたがって徐々に小さくなる形狀のテーパ状透明ブロックと、テーパ状透明ブロックの貫通孔に設けられた固体レーザロッドと、テーパ状透明ブロックの第1の端面からテーパ状透明ブロックに励起光を入射させる半導体レーザと、固体レーザロッドとテーパ状透明ブロックの内側側面との間に設けられた熱接触手段と、テーパ状透明ブロックの外側側面に設けられた励起光反射手段とを備えるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、テーパ状透明ブロックに入射した励起光が励起光反射手段での反射を繰り返しながら何度も固体レーザロッド内を伝搬するため、励起光の吸収効率を高くすることができる効果がある。また、テーパ状透明ブロックに入射した励起光が励起光反射手段での反射を繰り返しながら固体レーザロッドのあらゆる方向から固体レーザロッドに入射するため、固体レーザロッドの長手方向に垂直な面内における励起分布の均一度を高くすることができる効果がある。励起光の密度がテーパ状透明ブロックの第1の端面から第2の端面にわたって略均一となるため、固体レーザロッドの長手方向における励起分布の均一度を高くすることができる効果がある。また、励起光は集光することなしに、広いテーパ状透明ブロックの第1の端面からテーパ状透明ブロックに入射するため、従来のような端面の損傷の問題はないという効果がある。また、従来のように励起光を集光する必要がないため、レンズダクト等の集光手段を用いる必要がなく、固体レーザ励起モジュールが小型化するという効果がある。また、従来のように励起光を集光する必要がないため、必ずしも、固体レーザロッドの第1の端面に発振光を全反射する膜を形成する必要がなく、レーザ共振器の構成の自由度が大きくなるという効果がある。また、固体レーザロッドの側面より広い面積を有する、固体レーザロッドの長手方向軸を中心とする回転対称形であるテーパ状透明ブロックの外側側面から、固体レーザロッドが発する熱を回転対称に排出するため、固体レーザロッドの長手方向と垂直な面内における固体レーザロッド内の温度分布を回転対称にすることができます。

10  
20  
30  
40  
50

効果がある。

【0100】この発明によれば、テーパ状透明ブロックの第1の端面の外周及び第2の端面の外周が円形であるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、固体レーザロッドの長手方向と垂直な面内における固体レーザロッド内の温度分布を全ての方向に均一にすることができる効果がある。

【0101】この発明によれば、テーパ状透明ブロックの第1の端面の外周及び第2の端面の外周が正多角形であるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、テーパ状透明ブロックの平坦な外側側面にヒートシンクを配置することにより、励起光を吸収した固体レーザロッドが発する熱を外部に排出することができ、ヒートシンクによる排熱が容易になる効果がある。

【0102】この発明によれば、テーパ状透明ブロックの第1の端面の外周が長方形であり外側側面が互いに平行な二面と第1の端面から第2の端面に向かうにしたがって徐々に接近する二面とからなるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、テーパ状透明ブロックの互いに平行な二面にヒートシンクを配置することにより、励起光を吸収した固体レーザロッドが発する熱を外部に排出することができ、ヒートシンクによるテーパ状透明ブロックの保持やヒートシンクによる排熱が容易になる効果がある。

【0103】この発明によれば、固体レーザロッドの長手方向軸に垂直な断面の形状がテーパ状透明ブロックの第1の端面と同一である柱状の柱状透明ブロックを、テーパ状透明ブロックの第1の端面に設け、励起光反射手段を、柱状透明ブロックの外側側面に設けるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、柱状透明ブロックに入射した出射角の大きい励起光が柱状透明ブロックの外側側面に設けられた励起光反射手段によりテーパ状透明ブロックの第2の端面方向に反射するため、励起光の漏れが少なくなり、励起光の吸収効率を高くすることができる効果がある。

【0104】この発明によれば、テーパ状透明ブロックの第1の端面が凸形の曲率を有するように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、テーパ状透明ブロックの第1の端面がレンズのように機能し、柱状透明ブロックに入射した出射角の大きい励起光が内側に屈折するため、励起光の漏れが少なくなり、励起光の吸収効率を高くすることができる効果がある。

【0105】この発明によれば、半導体レーザを、固体レーザロッドの長手方向軸を中心として回転対称に設けるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、固体レーザロッドの長手方向と垂直な面内における励起分布の均一度を高くすることができる効果がある。

【0106】この発明によれば、励起光反射手段が金属からなるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、励起光反射手段を容易に形成することができる効

果がある。

【0107】この発明によれば、励起光反射手段が銅からなるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、励起光反射手段の反射率が高くなり、励起光の吸収効率が高くなる効果がある。

【0108】この発明によれば、励起光反射手段が励起光を拡散する特性を有する材料からなるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、励起光が励起光反射手段で拡散するため、励起分布の均一度を高くすることができる効果がある。

【0109】この発明によれば、励起光反射手段がセラミックからなるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、励起光を拡散する特性を有する励起光反射手段を容易に形成することができる効果がある。

【0110】この発明によれば、テーパ状透明ブロックの外側側面がグランドラフ面であるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、励起光がテーパ状透明ブロックの外側側面で拡散するため、励起分布の均一度を高くすることができる効果がある。

【0111】この発明によれば、テーパ状透明ブロックの内側側面がグランドラフ面であるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、励起光がテーパ状透明ブロックの内側側面で拡散するため、励起分布の均一度を高くすることができる効果がある。

【0112】この発明によれば、固体レーザロッドの側面がグランドラフ面であるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、励起光が固体レーザロッドの側面で拡散するため、励起分布の均一度を高くすることができる効果がある。

【0113】この発明によれば、テーパ状透明ブロックの屈折率が固体レーザロッドの屈折率より小さいように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、固体レーザロッドへの励起光の入射角度によらず、励起光が固体レーザロッドに入射するため、励起光の吸収効率を高くすることができる効果がある。

【0114】この発明によれば、固体レーザロッドが $Y_3Al_5O_12$ をホスト材料とし、テーパ状透明ブロックがサファイヤからなるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、テーパ状透明ブロックの屈折率を固体レーザロッドの屈折率より小さくすることができる効果がある。

【0115】この発明によれば、固体レーザロッドが $Y_3Al_5O_12$ 、 $YLiF_4$ 、 $LiSrAlF_6$ 及び $LiCaAlF_6$ のうちのいずれかをホスト材料とし、テーパ状透明ブロックが $MgF_2$ からなるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、テーパ状透明ブロックの屈折率を固体レーザロッドの屈折率より小さくすることができる効果がある。

【0116】この発明によれば、熱接触手段が液体からなるように、固体レーザ励起モジュールを構成したの

で、テーパ状透明ブロックと固体レーザロッドとの熱膨脹率の相違による破断のおそれなくなる効果がある。

【0117】この発明によれば、熱接触手段が固体レーザロッドの屈折率より小さく、テーパ状透明ブロックの屈折率より大きい屈折率を有するシリコーンオイルからなるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、励起光の吸収効率を高くすることができる。

【0118】この発明によれば、熱接触手段が固体レーザロッドの屈折率より小さく、テーパ状透明ブロックの屈折率より大きい屈折率を有するエチレングリコール水溶液からなるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、励起光の吸収効率を高くすることができる。

【0119】この発明によれば、固体レーザロッドを固定するとともに熱接触手段をシールする固定シール手段を、固体レーザロッドの側面とテーパ状透明ブロックの第1及び第2の端面との間に設けるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、固定シール手段による固体レーザロッドの固定と熱接触手段のシールとを容易に行うことができる効果がある。

【0120】この発明によれば、固定シール手段がシリコーンゴムからなるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、テーパ状透明ブロックと固体レーザロッドとの熱膨脹率の相違による応力を緩和することができる効果がある。

【0121】この発明によれば、内周と外周とを有する第1の端面と、内周と外周とを有し第1の端面と略平行な第2の端面と、第1の端面の内周と第2の端面の内周とを接続し貫通孔を形成する内側側面と、第1の端面の外周と第2の端面の外周とを接続する外側側面とで取り囲まれ、内側側面と外側側面とが固体レーザロッドの長手方向軸を中心とした回転対称形であり、長手方向軸に垂直な断面での内側側面の大きさが第1の端面から第2の端面にわたって同一であり、長手方向軸に垂直な断面での外側側面の大きさが第1の端面から第2の端面に向かうにしたがって徐々に小さくなる形状の第1のテーパ状透明ブロックと、第1のテーパ状透明ブロックと同一形状であり、第2の端面が第1のテーパ状透明ブロックの第2の端面と対向して位置する第2のテーパ状透明ブロックとを備えるように、固体レーザ励起モジュールを構成したので、半導体レーザの数を二倍に増やすことができるため、高平均パワーで固体レーザロッドを励起して高出力化を図ることができる効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施の形態1による固体レーザ励起モジュールを示す構成図である。

【図2】半導体レーザから出射した励起光の伝搬の様子を示す概略図である。

【図3】各種金属材料の入射角度依存性の計算結果を示す特性図である。

【図4】テーパ状透明ブロックの屈折率と固体レーザロッドの屈折率との大小関係による励起光の伝搬の相違を示す概略図である。

【図5】テーパ状透明ブロックの第1の端面に柱状透明ブロックを設けた場合と柱状透明ブロックを設けなかった場合の励起光の伝搬の相違を示す概略図である。

【図6】テーパ状透明ブロックの第1の端面に凸形の曲率を与えた場合の励起光の伝搬の様子を示す概略図である。

【図7】この発明の実施の形態1による固体レーザ励起モジュールの固定シール手段を示す概略図である。

【図8】この発明の実施の形態2による固体レーザ励起モジュールを示す構成図である。

【図9】この発明の実施の形態3による固体レーザ励起モジュールを示す構成図である。

【図10】ヒートシンクとテーパ状透明ブロックとの間に、ヒートシンクに比べて熱電導率が低い熱接触手段を配置した状態を示す概略図である。

【図11】この発明の実施の形態4による固体レーザ励起モジュールを示す構成図である。

【図12】従来例1の固体レーザ励起モジュールを示す構成図である。

【図13】従来例1の固体レーザ励起モジュールの固体レーザロッドに入射する励起光の吸収特性図である。

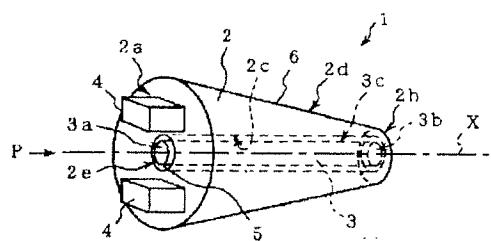
【図14】従来例2の固体レーザ励起モジュールを示す構成図である。

【図15】従来例2の固体レーザ励起モジュールの固体レーザロッドに入射する励起光の吸収特性図である。

#### 【符号の説明】

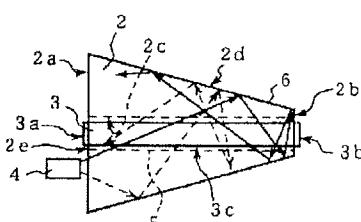
- 1, 11, 21, 31 固体レーザ励起モジュール、
- 2, 12, 22 テーパ状透明ブロック、2 a, 12 a, 22 a, 32 a, 33 a 第1の端面、2 b, 12 b, 22 b, 32 b, 33 b 第2の端面、2 c, 12 c, 22 c, 32 c, 33 c 内側側面、2 d, 12 d, 22 d, 32 d, 33 d 外側側面、2 e, 12 e, 22 e, 32 e, 33 e 貫通孔、3 固体レーザロッド、3 c 側面、4 半導体レーザ、5 热接触手段、6, 9 励起光反射手段、7 柱状透明ブロック、8 固定シール手段、32 第1のテーパ状透明ブロック、33 第2のテーパ状透明ブロック、X, Y 長手方向軸。

【図1】

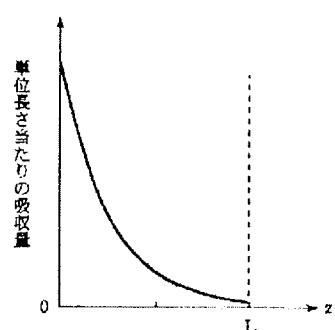


1: 固体レーザ励起モジュール  
2: テーパ状透明ブロック  
2a: 第1の端面  
2b: 第2の端面  
2c: 内側側面  
2d: 外側側面  
2e: 鉛通孔  
3: 固体レーザロッド  
3a: 側面  
4: 半導体レーザ  
5: 热吸収手段  
6: 励起光反射手段  
X: 長手方向軸

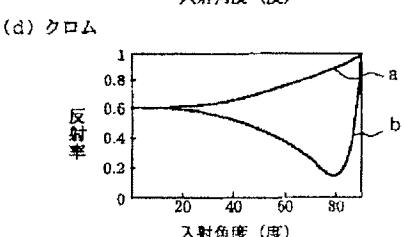
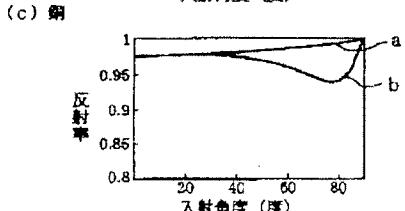
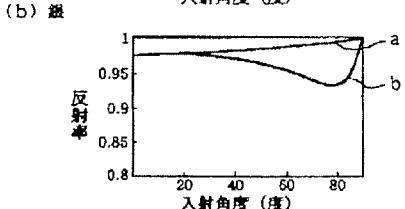
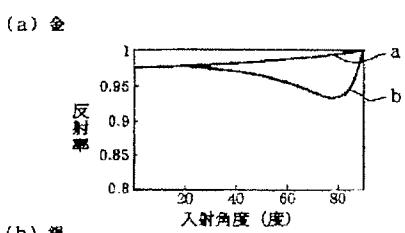
【図2】



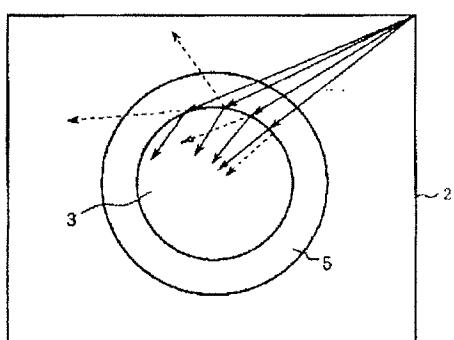
【図13】



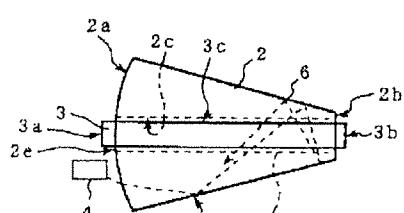
【図3】



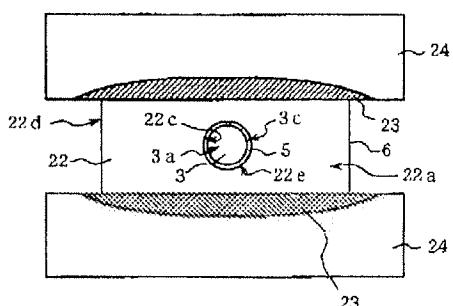
【図4】



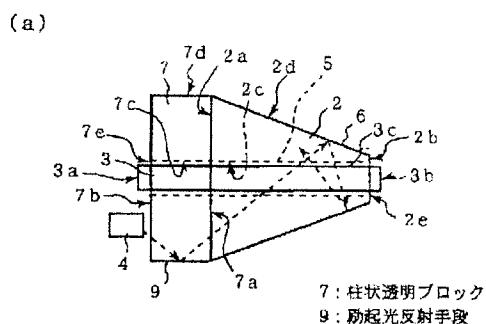
【図6】



【図10】

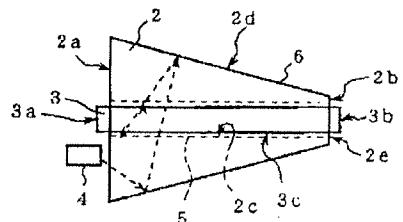


【図5】



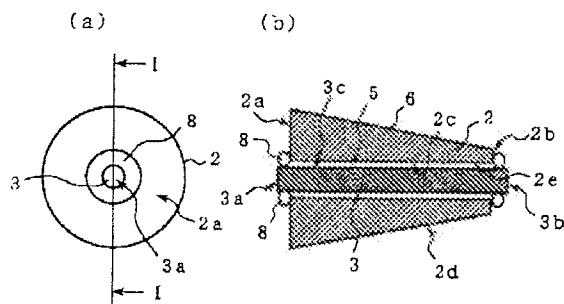
7: 柱状透明プロック  
9: 励起光反射手段

(a)



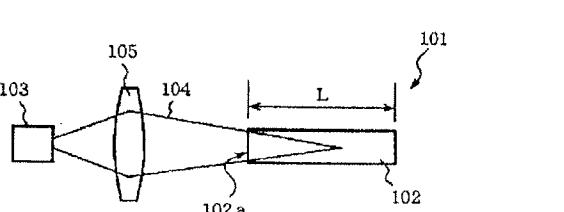
2a, 3a, 4, 5, 6, 7c: 透明プロック

【図7】



8: 固定シール手段

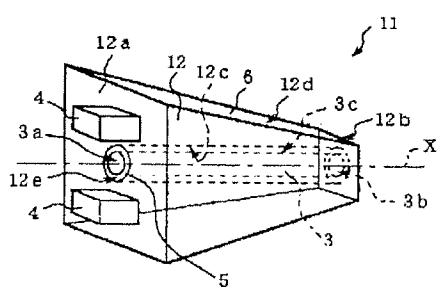
(a)



8: 固定シール手段

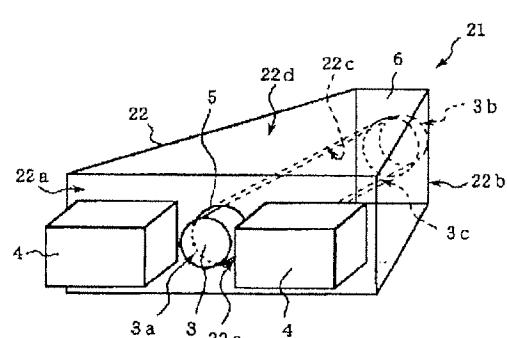
(b)

【図8】



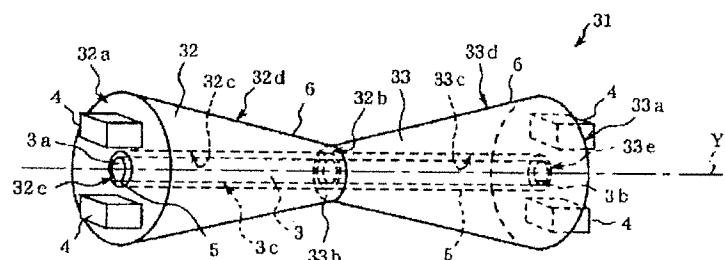
11: 固体レーザ励起モジュール  
12: テーパ状透明プロック  
12a: 第1の端面  
12b: 第2の端面  
12c: 内側側面  
12d: 外側側面  
12e: 貫通孔

【図9】



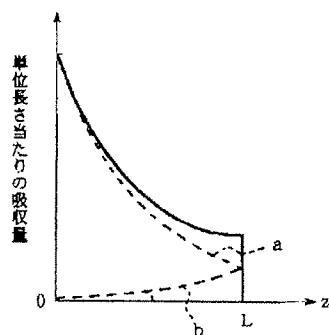
21: 固体レーザ励起モジュール  
22: テーパ状透明プロック  
22a: 第1の端面  
22b: 第2の端面  
22c: 内側側面  
22d: 外側側面  
22e: 貫通孔

【図11】



31: 固体レーザ励起モジュール  
 32: 第1のテーパ状透明ブロック  
 32a: 第1の端面  
 32b: 第2の端面  
 32c: 内側側面  
 32d: 外側側面  
 32e: 穿通孔  
 33: 第2のテーパ状透明ブロック  
 33a: 第1の端面  
 33b: 第2の端面  
 33c: 内側側面  
 33d: 外側側面  
 33e: 穿通孔  
 Y: 長手方向軸

【図15】



【図14】

